



**TURUN  
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen  
tiedekunta

## **Silakan (*Clupea harengus membras*) iänmäärityksen vertailu suomuista ja otoliiteista**

Tuuli Gustafsson

Biologia

LuK-tutkielma

Laajuus: 8 op

9.2.2026

Turku

Turun yliopiston laatu järjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu  
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

LuK-tutkielma

**Pääaine:** Biologia

**Tekijä:** Tuuli Gustafsson

**Otsikko:** Silakan (*Clupea harengus membras*) iänmäärityksen vertailu suomuista ja otoliiteista

**Ohjaaja:** Katja Mäkinen

**Sivumäärä:** 20 sivua

**Päivämäärä:** 9.2.2026

---

Kalakantojen kokoarvioita tehtäessä eri ikäluokkien koot pyritään selvittämään, mikä vaatii kalojen iänmääritystä. Iänmääritysten avulla voidaan myös selvittää kalojen kasvunopeuksia, joiden avulla voidaan tutkia esimerkiksi ympäristöolojen muutoksien mahdollisia vaikutuksia kaloihin. Silakoilla (*Clupea harengus membras*) ikä määritetään nykyään tavallisesti kuuloluista eli otoliiteista. Otoliiteissa on kuitenkin havaittu kristallisaatiota eli otoliitin mineraalikoostumuksen muuttumista, mikä hankaloittaa iänmääritystä. Iänmääritystä voi tehdä myös muista kalan luutumista, kuten muista luista ja suomuista. Tässä tutkimuksessa oli tarkoitus selvittää miten otoliittien poikkileikkauksesta tehty iänmääritys eroaa suomuista tehdystä iänmäärityksestä. Tutkimuksen tarkoituksena oli tuottaa alustavaa tietoa siitä, voisiko otoliiteista tehtävää iänmääritystä korvata suomuilla tehtävällä iänmäärityksellä. Tutkimusta varten kerättiin kesäkuussa 2025 silakkanäytteitä Saaristomeren sisävyöhykkeellä sijaitsevalta kutupaikalta. 30 silakkanäytteestä kerättiin otoliitti- ja suomunäytteet iänmääritystä varten. Tutkimuksen tuloksena havaittiin, että suomuista tehtävä iänmääritys tuotti keskimäärin merkitsevästi alhaisempia ikäarvioita kuin otoliittien poikkileikkauksesta tehtävä iänmääritys. Iänmääritysmenetelmien väliset erot korostuvat etenkin vanhempien kalayksilöiden kohdalla. Uudemmissa ja kehittyneemmillä laitteilla ja menetelmillä kahden iänmääritysmenetelmän väliset erot todennäköisesti pienenisivät jonkin verran. Myös ikää määrittävän henkilön oma kokemus ja tietämys aiheesta ovat olennaisia.

---

**Avainsanat:** silakka, *Clupea harengus membras*, iänmääritys, somu, otoliitti

# Sisällys

<b>1 Johdanto</b> .....	1
<b>1.1 Kalojen iänmääritys</b> .....	1
<b>1.2 Silakka ja sen iänmääritys</b> .....	2
<b>1.3 Haasteet otoliittien iänmäärityksessä</b> .....	4
<b>1.4 Tutkimuskysymys</b> .....	4
<b>2 Aineisto ja menetelmät</b> .....	5
<b>2.1 Silakoiden pyynti ja käsittely</b> .....	5
<b>2.2. Suomujen ja otoliittien käsittely</b> .....	6
<b>2.3. Ikien määrittäminen</b> .....	7
<b>2.4 Tilastolliset menetelmät</b> .....	9
<b>3 Tulokset</b> .....	10
<b>4 Pohdinta</b> .....	12
<b>4.1 Erot iänmääritysmenetelmien välillä</b> .....	12
<b>4.2 Suomuista tehtävän iänmäärityksen haasteet silakoilla</b> .....	14
<b>4.3 Vaihtoehtoisia menetelmiä iänmääritykseen</b> .....	15
<b>4.4 Iänmäärityksen tärkeys</b> .....	16
<b>Kiitokset</b> .....	17
<b>Lähdeluettelo</b> .....	17

# 1 Johdanto

## 1.1 Kalojen iänmäärittäminen

Iänmäärittäminen on oleellinen osa eliöihin liittyvää tutkimusta. Iän tunteminen auttaa ymmärtämään esimerkiksi lajin kasvua ja elinkiertoa. Ikärakenteen selvittäminen on tärkeä osa esimerkiksi eri kalapopulaatioiden sekä koko kannan koon selvitystä (Parmanne ym. 1994, Ashford ym. 2001, Proctor ym. 2021). Kalakantojen koon selvittämistä hyödynnetään esimerkiksi, kun säädellään kuinka paljon kalalajia saa kalastaa (Raitaniemi ym. 2000, Proctor ym. 2021). Iänmäärittämisen avulla voidaan selvittää myös kalojen kasvunopeus sekä tutkia esimerkiksi muuttuvien ympäristötekijöiden vaikutuksia lajeihin (Raitaniemi ym. 2000, Harris 2020, Proctor ym. 2021).

Eri kalalajeilla iänmäärittäystä voidaan tehdä eri rakenteista, yleisimmin suomuista, otoliiteista eli kuuloluista tai muista luista (Proctor ym. 2021). Kaikissa kaloilla käytetyissä menetelmissä iänmäärittäminen perustuu kasvunopeuden vaihteluun ja vuosirenkaiden syntyyn. Kalat ovat vaihtolämpöisiä, mistä johtuen suurin osa tropiikin ulkopuolella elävistä kaloista kasvaa nopeammin lämpimän veden aikaan kesällä, mutta poikkeuksiakin löytyy (Raitaniemi ym. 2000, Boltaña ym. 2017). Nopean kasvun aikaan syntyy vaaleampi ja leveämpi kasvuvyöhyke eli kesärenkas. Talvella kasvu hidastuu, jolloin syntyy tummempi ja kapeampi kasvuvyöhyke eli talvirenkas. Teoriassa kalat kasvavat koko elinikensä, mutta osa kaloista, kuten silakka, kasvaa suurimman osan pituudestaan ensimmäisten kolmen vuoden aikana, kun taas osa kaloista kasvaa tasaisemmin koko elinikensä ajan (Raitaniemi ym. 2000). Kalan kasvuun ja lopulliseen kokoon vaikuttavat lämpötilanvaihtelujen lisäksi myös perimä, muut ympäristötekijät, kuten suolapitoisuus, pH ja hapen saatavuus, sekä saatavilla olevan ravinnon määrä ja laatu (Boeuf ja Le Bail 1999, Raitaniemi ym. 2000). Myös sukupuolella ja sukukypsyydellä on usein vaikutusta kalan kasvunopeuteen (Raitaniemi ym. 2000).

Varsinaiseen iänmääritykseen kuuluu tiettyjä johdonmukaisuuksia ja sääntöjä. Otoliiteissa on kaksi eri vyöhyketyyppiä: tummaa alustaa vasten tarkasteltuna vaalea ja leveämpi nopean kasvun opaakkivyöhyke eli kesärengas sekä tummempi ja kapeampi hitaan kasvun hyaliinivyöhyke eli talvirengas (Raitaniemi ym. 2000). Vuosirenkaksi katsotaan hyaliinivyöhykkeen ja seuraavan opaakkivyöhykkeen rajalinja. Varsinaisten vyöhykkeiden lisäksi otoliiteissa on myös valkuaisainetta otoliinia (Richter ja McDermott 1990). Vuosirenkaksi lasketaan renkaat, jotka menevät koko kalan luutuman keskustan ympäri. Ikärenkaiden tulisi olla myös sopivin välimatkoin luutumassa, reunaan kohti tasaisesti tiivistyen, johtuen kasvun hidastumisesta ja vuosirenkaiden kaventumisesta. Kalan ikä muodostuu vuosirenkaiden lukumäärästä. Pohjoisen pallonpuoliskon kalojen syntymäpäivä on kansainvälisesti sovittu vuodenvaihteeseen (1.1.) (Hile 1950). Helppointa iänmääritys on tehdä keväällä pyydetyistä kaloista, joilla edellisen vuoden vuosirengas on luutumissa kokonaan, mutta kuluvan vuoden uusi kasvu ei ole vielä alkanut. Vuosirenkaiden lisäksi luutumissa voi esiintyä muita kasvurenkaita eli valerenkaita, jotka voivat syntyä esimerkiksi stressistä, ruoanpuutteesta, kasvuhäiriöistä tai muusta hitaan kasvun vaiheesta keskellä nopeaa kasvua (Raitaniemi ym. 2000, Horká ym. 2010). Joillakin kaloilla otoliiteista pystytään laskemaan myös vuorokausirenkaita, joita muodostuu yksi vuorokaudessa (Raitaniemi ym. 2000, Sakaris ja Irwin 2008, Proctor ym. 2021).

## 1.2 Silakka ja sen iänmääritys

Silakka *Clupea harengus membras* (Wulf, 1765) on Itämerellä esiintyvä sillikaloihin (Clupeiformes) kuuluva sillin (*Clupea harengus*) alalaji. Itämerellä silakka on kaupallisesti, ekologisesti ja kulttuurillisesti tärkeä laji (Parmanne ym. 1994, Atmore ym. 2022). Silakka on kilohailin (*Sprattus sprattus*) ohella jo vuosikymmeniä ollut Itämeren kaupallisesti tärkein kalalaji (ICES 2024). Silakalla on myös Itämeren ravintoverkossa merkittävä rooli, sillä ne käyttävät ravintonaan pääosin eläinplanktonia, kuten hankajalkaisia (Copepoda), vesikirppuja (Cladocera), massiäyriäisiä (Mysida) ja katkoja (Amphipoda) (Flinkman ym. 1992, Parmanne ym. 1994). Silakka toimii ravintona ihmisen lisäksi muun muassa muille kaloille, hylkeille ja vesilinnuille (Parmanne ym. 1994). Suurin osa silakoista kutee keväällä veden lämmitessä,

mutta syyskutuisiakin silakoita on (Atmore ym. 2022). Ajankohta vaihtelee Itämeren osan mukaan. Saaristomerellä kutu tapahtuu yleensä toukokuusta alkaen (Rajasilta 1993).

Silakoilla iänmäärittystä tehdään useimmiten otoliiteista eli kuuloluista, jotka sijaitsevat kalan aivojen yhteydessä parillisessa sisäkorvassa eli labyrintissa. Luukaloilla sisäkorva koostuu kahdesta eri puoliskosta, joissa molemmissa on kolme kuuloluuta: sagitta, lapillus ja asteriscus (Schulz-Mirbach ym. 2011, Proctor ym. 2021, Belay ja Mengist 2025). Otoliitit ovat muuta kudosta tiheämpiä, joten niiden liike syntyy jäljessä suhteessa aistinepiteeliin aiheuttaen kosketusärsyksen labyrintin sisäpintaan, kun kala liikkuu tai sen läpi kulkee ääniaaltoja (Schulz-Mirbach ym. 2011). Useimmilla kaloilla, kuten myös silakalla, iänmäärittystä tehdään sagitta-otoliitista sen suuren koon sekä selväpiirteisyyden vuoksi (Raitaniemi ym. 2000, Proctor ym. 2021). Iänmäärittystä voi tehdä kokonaisesta otoliitista tai otoliitin poikkileikkauksesta (Peltonen 2002).

Suomuista tehtävä iänmäärittys on monella lajilla tyypillinen menetelmä, mutta silakoilla otoliiteista tehtävä iänmäärittys on korvannut menetelmän. Suomut ovat verinahan luutumia ja täten osa kalan ihoa. Suomun epätasainen etureuna on ihon suomutaskussa ja takaosa ulospäin näkyvillä eikä varsinaisesti kalan ihoon kiinnittyneenä. Somuissa on kalanpuoleinen sileä pinta eli kuitukerros ja ulkopuoleinen karhea ulkokerros, johon kasvurenkaat muodostuvat (Raitaniemi ym. 2000). Varsinaisen somupeitteen päällä on pintakerros epidermis ja tämän päällä vielä limakerros, joka helpottaa kalan liikkumista vedessä (Raitaniemi ym. 2000). Somutyypit vaihtelee kalalajeittain. On olemassa hammassomuja, kosmoidisumuja, kiillesumuja sekä varsinaisia somuja, joista viimeisimmät voidaan vielä jakaa pyörösomuihin ja kampasomuihin (Raitaniemi ym. 2000, Nuñez-Tapia ym. 2025). Silakoilla suomut ovat pyörösumuja, joista iänmäärittystäkin tehdään.

### 1.3 Haasteet otoliittien iänmäärityksessä

Otoliiteista tehtävän iänmäärityksen positiivisia puolia verrattuna muihin iänmääritysmenetelmiin ovat ensisijaisesti tarkkuus mutta myös varmuus (LaBay ja Lauer 2006, Proctor ym. 2021). Otoliitit sijaitsevat sisäkorvan sisällä endolymfa-nesteen ympäröimänä suojassa ulkoisilta tekijöiltä, kuten naarmuuntumiselta ja vääntymiseltä, eivätkä ne voi irrota ja uusiutua kalan elinaikana, toisin kuin suomut (Proctor ym. 2021). Etenkin silakan suomut ovat helposti irtoavia, mikä hankaloittaa niistä tehtävää iänmääritystä.

Varsinaiseen iänmääritykseen liittyy myös haasteita. Vanhoista yksilöistä tehtävä iänmääritys on usein vaikeampaa kasvun hidastumisen myötä (Peltonen 2002). Otoliiteista tehtävää iänmääritystä voi myös hankaloittaa kristallisoituminen eli otoliittien mineraalikoostumuksen muuttuminen. Sagitta-otoliitit muodostuvat kalsiumkarbonaatista ( $\text{CaCO}_3$ ), joka voi esiintyä eri polymorfisina muotoina joko aragoniittina, vateriittina tai kalsiittina. Kristallisoituneessa otoliitissa kalsiumkarbonaattimatriksiin muodostuu tavallisen aragoniitin sijasta vateriittia (Mäkinen ym. 2022), mikä voi johtaa otoliitin muodon, koon sekä tiheyden muuttumiseen ja täten mahdollisesti vaikuttaa esimerkiksi kalan kuuloon (Tomás ja Geffen 2003). Kristallisoituminen tekee otoliiteista läpikuultavampia, jolloin ikärenkaat näkyvät huonommin ja iänmääritys hankaloituu. Kansainvälinen merentutkimusneuvosto ICES onkin suositellut, että kristallisoituneita otoliitteja ei tulisi käyttää iänmäärityksessä (ICES 2022). Otoliitit voivat olla osittain tai kokonaan kristallisoituneita (Tomás ja Geffen 2003), ja myös kristallisoituneiden otoliittien suhteellinen määrä populaatioissa eri vuosina vaihtelee paljon, vuonna 1984 ollen jopa 48 % (Mäkinen ym. 2022). Vaihtelun tai itse ilmiön syitä ei vielä tarkkaan tiedetä.

### 1.4 Tutkimuskysymys

Suomut voisivat olla vaihtoehtoinen keino iänmääritykseen, jos otoliittien kristallisaatio lisääntyy merkittävästi. Tämän tutkielman tutkimuskysymyksenä on, eroaako suomuista tehty iänmääritys merkittävästi otoliittien poikkileikkauksesta tehdystä iänmäärityksestä ja, jos

eroaa, niin miten. Tulokset antavat alustavaa tietoa siitä, miten luotettavaa suomuista tehty iänmääritys on ja voisiko sitä jatkossa hyödyntää nykyisen vakiintuneen menetelmän eli otoliiteista tehtävän iänmäärityksen ohella tai sijasta.

## **2 Aineisto ja menetelmät**

### **2.1 Silakoiden pyynti ja käsittely**

Silakoiden pyynti Saaristomerellä tehtiin osana Turun yliopiston silakkaprojektin vakioseuranta. Tutkimuksen aineiston olen kerännyt, käsitellyt ja tulkinnut projektin työntekijöiden avustuksella. Silakat pyysimme Saaristomereltä Airiston alueella sijaitsevalla silakkatutkimusrysällä 4.6.2025. Rysä sijaitsi Viittakarilla (60°24'12"N 22°07'50"E), jossa sijaitsee yksi silakan tunnettu kutupaikka (Rajasilta 1993). Mukaan tutkimukseen sisällytimme 30 silakkayksilöä, jotka keräsimme laajemmasta sekanäytteestä. Pyrimme valitsemaan yksilöt satunnaisesti mutta niin, että mahdollisimman moni kokoluokka olisi edustettuna. Rysässä olleista silakoista loput päästimme takaisin mereen ja tutkittaviksi tulevat yksilöt laitoimme maihin päästyämme merkatuissa muovipusseissa pakkaseen.

Otin silakat pakkasesta, sulatin vesihautessa ja käsittelin 1.7.2025. Silakoista otin ylös perustietoina pituuden (cm), painon (g), sukupuolen sekä sukukypsyyden eli sukurauhasten eli gonadien painon (g) ja kehitysvaiheen 1–8 Kestevenin asteikolla (Bagenal ja Braum 1971). Otoliiteista tehtävää iänmääritystä varten otin kalan aivojen yhteydestä talteen kalan molemmat sagitta-otoliitit, jotka huuhtelin vedessä ja laitoin kuoppalevyille kuivumaan. Yhteen kuoppalevyn kuoppaan tuli siis yhden kalayksilön oikeanpuoleinen ja vasemmanpuoleinen otoliitti.

## 2.2. Suomujen ja otoliittien käsittely

Tein suomuista tehdyn iänmäärittelyn heti kalojen käsittelyn jälkeen, jotta suomut olisivat mahdollisimman tuoreita. Iänmäärittelyn kannalta olisi oleellista, että mukaan tulleet suomut ovat kalan ensimmäisen kasvukauden aikana muodostuneita, jotta niissä näkyisi kalan koko kasvu ja näin ollen ikä (Raitaniemi ym. 2000). Pysin ottamaan tutkittavat suomut peräevän kohdilta läheltä kyljen keskikohtaa, mikä on monelle lajille tyypillinen standardi suomujen näytteenottoa juuri sen takia, että usein ensimmäiset suomut muodostuvat kylkiviivan lähelle (Raitaniemi ym. 2000). Aivan kylkiviivan kohdalta suomuja ei kannata ottaa, sillä niissä on kylkiviiva-aistin hermokanavien aukkoja, jotka haittaavat iänmäärittelyä (Raitaniemi ym. 2000). Silakoiden suomut kuitenkin irtoavat helposti, joten iänmäärittelyyn tulleen suomun sijainti vaihteli hieman kalakohtaisesti. Pyyhin kalan kyljen irrallisista suomuista, jotta tutkittavaksi tuleva somu olisi oikeasti kyseisen kalayksilön oma somu. Irrotuksen jälkeen puhdistin suomun varovasti sormien välissä veden ja etanolin (70 %) avulla, jotta sain liman ja mahdollisen lian pois. Asetin suomut objektilevylle pieneen määrään vettä. Useasta kalasta jouduin ottamaan muutaman suomun ja valitsemaan mikroskoopin avulla iänmäärittelyn kannalta parhaan suomun, jossa ikärenkaat näkyivät mahdollisimman selkeästi.

Aloitin otoliittien käsittelyn 2.7.2025, kun otoliitit olivat kuivuneet kuoppalevyllä yön yli. Otoliittien käsittely ja iänmäärittely perustui aikaisemmin käytettyyn menetelmään (Eklund ym. 2000, Peltonen 2002). Otoliittien käsittelyyn kuului otoliittien liimaus polykarbonaattilevylle, hionta, värjäys sekä itse iänmäärittely. Ensimmäisenä hioin polykarbonaattilevyn reunan hiekkapaperilla (karkeus 100/120) mahdollisimman tasaiseksi ja suoraksi. Levitin levyn reunaan pienen määrän petrimaljalla sekoitettua nopeasti kuivuvaa 5 minuutin Bison-epoksiliimaa. Asetin jokaisesta kalayksilöstä vasemmanpuoleisen otoliitin levylle liiman päälle kupera puoli ylöspäin. Asettelin otoliitit levyn reunaan niin, että otoliitin ydin eli nukleus oli reunan kohdalla ja kärki eli rostrum levyn ulkopuolella. Otoliitin tuli myös olla mahdollisimman suorassa eikä esimerkiksi liian syvässä liimassa. Tarkkailin ja korjasin otoliittien asentoja, kunnes liima oli kuivunut. Kuivuneen liiman ja otoliittien päälle laitoin petrimaljalla sekoitettua hitaasti kuivuvaa Bison-epoksiliimaa niin, että levyllä oleva osa otoliitista peittyi, mutta ulkopuolella oleva osa ei. Tämän jälkeen jätin levyt liimoineen kuivumaan yön yli.

Seuraavaksi hioin otoliitit hiontasarjalla, jonka hiomapapereiden karkeudet olivat 240, 600, 1200 ja 2000. Katkaisin ensin levyn reunan yli menevän osan otoliittia taittamalla varovasti pöytää vasten. Tämän jälkeen hioin otoliitin poikkileikkausta hiontasarjalla karkeammasta hienompaan, kunnes otoliitti oli samalla tasolla polykarbonaattilevyn kanssa. Levyä pidin mahdollisimman kohtisuorassa hiomapaperia vasten. Kahdella karkeimmalla paperilla hiomaliike oli edestakaista ja kahdella hienoimmalla paperilla pyörivää, veden kanssa tehtyä hiontaa.

Etsaukseen ja värjäykseen tarvittavat liuokset valmistin vetokaapissa. Menetelmä toteutettiin Turun yliopiston silakkaprojektin otoliittien preparointiohjeiden mukaisesti. Etsauksen tein 10 % väkiviinaetikalla. Värjäyksessä käytettävään liuokseen tuli 100 ml vettä, 1 g neutraalipunaa, 1 g natriumkloridia (NaCl) ja 5 ml 10 % väkiviinaetikkaa, jotka mittasin ja sekoitin yhteen. Tein vetokaappiin sarjan, jonka ensimmäisessä astiassa oli etikka, toisessa vesi, kolmannessa väriliuos ja neljännessä vesi. Polykarbonaattilevyt asetin niille tarkoitettuun muovitelineeseen, jonka avulla kaikki levyt sai tehtyä samalla kertaa. Upotin levyt etikkaan kuuden minuutin ajaksi, jonka jälkeen huuhtelin ne vedessä varovasti huljutellen. Tämän jälkeen upotin levyt väriliuokseen 13 minuutin ajaksi ja huuhtelin ne taas vedessä. Lopuksi laitoin levyt kuivumaan paperille. Käytetyt liuokset laitoin kemikaalijätteisiin.

### **2.3. Ikien määrittäminen**

Suomuista määritin iät heti suomujen ollessa tuoreita stereomikroskoopilla (Zeiss Stemi 508) noin 25 kertaisella suurennoksella riippuen suomun koosta. Säädin mikroskoopin valojen voimakkuutta ja peilin asentoa uudelleen jokaisen suomun kohdalla, jotta renkaat olisivat erottuneet mahdollisimman selkeästi. Otin suomuista valokuvat mikroskoopin ja Zeiss Zen 2 (Blue edition) -kuvankäsittelyohjelmiston avulla mahdollista myöhempää tarkastelua varten. Itse suomut laitoin oikeassa järjestyksessä talteen kahden objektilevyn väliin, jotka teippasin maalarinteipillä päistä kiinni.

Otoliittien iänmääritykset tein polykarbonaattilevyjen kuivumisen jälkeen. Levyn otoliitteineen asetin pienelle petrimaljalle sinitarran avulla pystyasentoon niin, että otoliittien poikkileikkauspinta osoitti ylöspäin. Käytin iänmäärityksissä stereomikroskooppia noin 32 kertaisella suurennoksella riippuen otoliitin koosta. Apuna oli myös kylmävalo (Zeiss CL 1500 ECO) ylimääräisenä valonlähteenä, jotta vuosirenkaat saataisiin parhaiten näkyviin.

Kalan iän arvio perustui luutuman vuosirenkaiden lukumäärään. Tässä tutkimuksessa laskin varsinaisten vuosirenkaiden lisäksi mukaan myös kuluvan vuoden, eli suomun tai otoliitin ulkoreunan (Kuvat 1 ja 2).



Kuva 1. 5-vuotiaaksi määritetyn silakan otoliitin poikkileikkauspinta, johon merkitty vihreällä vuosirenkaiksi lasketut kasvurenkaat. Kuva: Tuuli Gustafsson.



Kuva 2. 5-vuotiaaksi määritetyn silakan suomu, johon merkitty punaisella vuosirenkaiksi lasketut kasvurenkaat. Kuva: Tuuli Gustafsson.

## 2.4 Tilastolliset menetelmät

Ikämääritysten tulokset sekä kalojen muut perustiedot kirjasin Exceliin talteen. Tulosten analysoinnin sekä kuvaajat tein RStudiolla (Posit team 2025, versio 2025.09.2+418). Verrattavat iät suomusta sekä otoliitista olivat samasta kalayksilöstä ja näin ollen riippuvaisia toisistaan. Sekä suomuikä että otoliitti-ikä testattiin olevan tarpeeksi normaalisti jakautuneita visuaalisen histogrammitarkastelun perusteella. Näiden ominaisuuksien perusteella kahdella menetelmällä saatujen arvioiden vertailun tilastolliseksi testiksi valikoitui parittainen t-testi.

Ikämääritysmenetelmien välistä yhdenmukaisuutta arvioin Bland-Altman-analyysillä, jossa laskin jokaiselle havaintoparille menetelmien antamien ikien välisen erotuksen ja keskiarvon. Bland-Altman-kuvaajassa erotukset esitetään keskiarvojen funktiona. Analyysi kertoo myös menetelmien välisen keskimääräisen eron ja sen 95 % tarkkuusvälin.

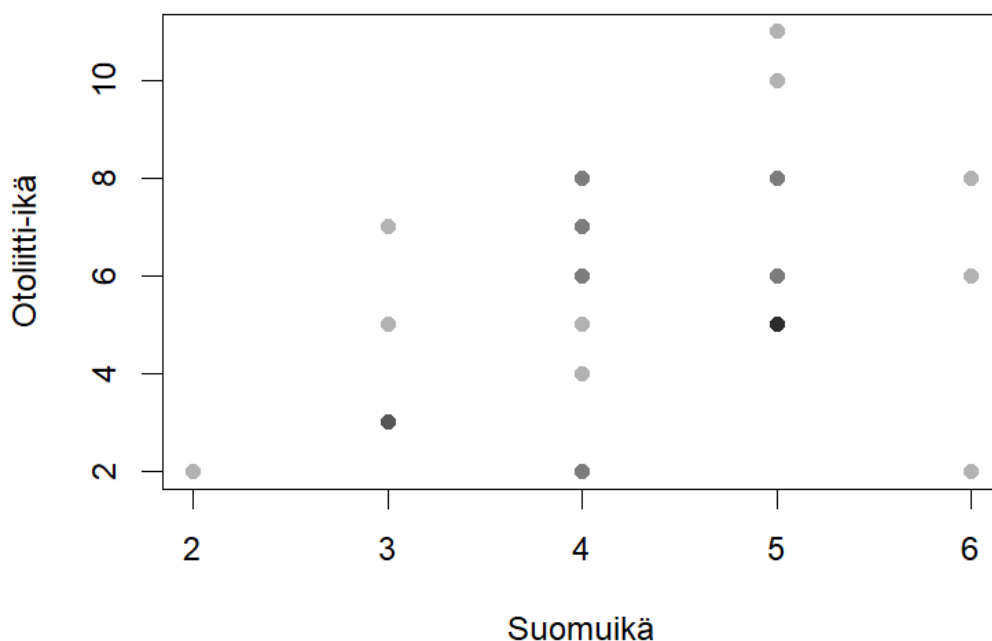
### 3 Tulokset

Aineistossa oli yhteensä 30 silakkaa, joista 13 oli koiraita ja 17 naaraita. Silakoiden keskipituus oli 16,78 cm ja keskipaino 32,46 g (Taulukko 1). Tutkimuksen silakat olivat osa kutemassa olevaa sekarparvea. Yhtä yksilöä lukuun ottamatta kaikkien silakoiden gonadit olivat Kestevenin asteikolla luokkaa 5 tai 6, mikä vastaa kutuvaihetta. Luokan 5 yksilöillä gonadit olivat täysikokoiset, rakenne pehmeä ja verisuonitus heikosti näkyvä tai hävinnyt. Luokan 6 silakoilla mäti tai maiti oli valuvaa, mutta gonadi oli vielä rakenteellisesti ehjä.

Taulukko 1. Silakoiden pituuden, painon sekä suomuista ja otoliiteista arvioitujen ikien minimi, maksimi, keskiarvo ja keskihajonta (n=30).

	Pituus (cm)	Paino (g)	Suomuikä (vuotta)	Otoliitti-ikä (vuotta)
Keskiarvo	16,8	32,5	4,33	5,60
Keskihajonta	1,53	10,9	0,99	2,36
Min	12,4	12,8	2	2
Max	20,4	67,1	6	11

Suomuista ja otoliittien poikkileikkauksista tehtyjen iänmääritysten välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero ( $t = -3,16$ ,  $p = 0,004$ ,  $df = 29$ ). Suomuista tehty iänmääritys antoi keskimäärin pienempiä ikäarvoja kuin otoliittien poikkileikkauksista tehty iänmääritys (Taulukko 1). Suomuista saadut iät olivat kahden ja kuuden ikävuoden välillä, kun taas otoliiteista saadut iät kahden ja 11 ikävuoden välillä (Kuva 3). Otoliitista tulkittu ikä oli siis keskimäärin 1,27 vuotta korkeampi kuin suomusta saatu ikä (Taulukko 1).

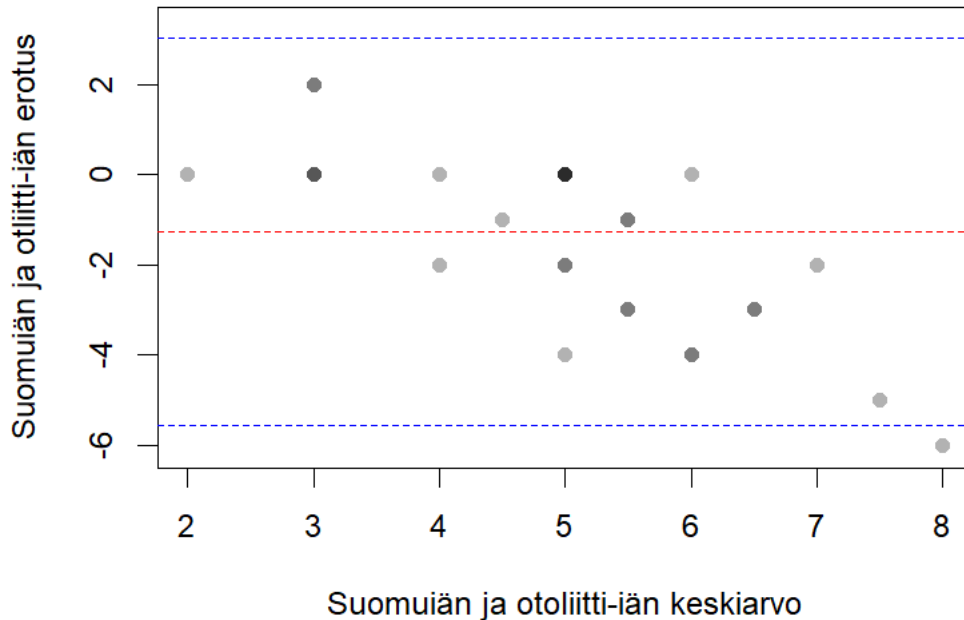


Kuva 3. Sirontakuviot silakkayksilöiden suomusta sekä otoliitin poikkileikkauksesta määritetystä iästä vuosina (n=30). Pisteiden tummuus kuvaa päällekkäisten pisteiden lukumäärää.

Täysin sama tulos otoliitista tehdystä iänmäärityksestä ja suomusta tehdystä iänmäärityksestä oli 37 % kalayksilöistä. 53 % kaloista otoliitista saatu ikä oli suurempi ja 10 % kaloista suomuista saatu ikä oli suurempi (Kuva 3). Kaikissa kolmessa tapauksessa, joissa suomuikä tulkittiin olevan otoliitti-ikä suurempi, oli kalan otoliitti-ikä määritelty kaksi (Kuva 3).

Myös Bland-Altman-analyysi osoitti, että suomusta tehty iänmääritys aliarvioi kalan ikää verrattuna otoliittien poikkileikkauksesta tehtyyn iänmääritykseen (Kuva 4). Menetelmien välinen keskimääräinen ero oli negatiivinen, mikä kuvastaa suomuikien pienempiä arvoja. Suurin osa havainnoista sijoittui 95 % yhdenmukaisuusrajojen sisäpuolelle, mikä kuvastaa suhteellisen hyvää yhdenmukaisuutta kahden menetelmän välillä. Iän kasvaessa erot kuitenkin näyttäisivät kasvavan (Kuva 4), mikä viittaa siihen, että menetelmien välinen ero kasvaa vanhemmilla kalayksilöillä. Kuvaajan (Kuva 4) perusteella myös nuorten, alle 4-vuotiaiden yksilöiden kohdalla menetelmien väliset erot näyttäisivät olevan suurempia, mutta toiseen suuntaan. Nuoret yksilöt näyttäisivät saavan suomuista tehdyllä iänmäärityksellä suurempia

ikäarvioita kuin otoliiteista, mutta vanhemmilla yksilöillä tilanne näyttää kääntyvän päinvastaiseksi ja suomuista saatavat ikäarviot ovat otoliiteista tehtyjä ikäarvioita alhaisempia.



Kuva 4. Bland-Altman-kuvaaja, joka kuvaa kalayksilön suomuiän ja otoliitti-ikä keskiarvon suhdetta suomuiän ja otoliitti-ikä erotukseen (n=30). Punainen katkoviiva kertoo keskimääräisen eron suomuiän ja otoliitti-ikä välillä. Sinisten katkoviivojen välinen tila kuvaa 95 % tarkkuusväliä. Pisteiden tummuus kuvaa päällekkäisten pisteiden lukumäärää.

## 4 Pohdinta

### 4.1 Erot iänmäärittämenetelmien välillä

Tutkimuksessa vertailin suomuista tehtyä iänmäärittäystä ja otoliittien poikkileikkauksesta tehtyä iänmäärittäystä, joka on silakalla vakiintunut iänmäärittäystapa. Tutkimuksen mukaan suomuista tehty iänmäärittäys tuotti keskimäärin merkitsevästi alhaisempia ikäarvioita kuin otoliittien poikkileikkauksesta tehty iänmäärittäys. Eroavaisuus kahden eri menetelmän välillä oli useimmiten niin päin, että otoliitti-ikä oli suomuikä suurempi. Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu samansuuntaisia tuloksia (Skurdal ym. 1985, Kornilovs ja Fetter

1996, Ashford ym. 2001). Päinvastaisiakin tuloksia on saatu (Messieh ja Tibbo 1970, Messieh 1974), mutta on huomioitava, että julkaisut ovat ajalta, jolloin otoliiteista tehtävä iänmääritys ei ollut vielä kehittynyt nykyiselle tasolle. Tässä tutkimuksessa nuoremmilla, 2–6-vuotiailla kaloilla erot kahden menetelmän välillä näyttäisivät olevan pienempiä kuin vanhemmilla, yli 6-vuotiailla kaloilla. Erot suomusta määritetyn iän ja otoliitista määritetyn iän välillä vaikuttaisivat kasvavan, kun on kyse vanhemmasta kalasta (Kornilovs ja Fetter 1996). Vanhoilla kaloilla rakenteisiin on ehtinyt kertyä vuosien aikana enemmän ikärenkaita sekä mahdollisia muita kasvunopeuden vaihtelusta syntyneitä rakenteita. Renkaiden paljous sekä mahdolliset valerenkaat hankaloittavat iän tulkintaa. Mitä enemmän vuosirenkaita on, sitä tiheämmin ne ovat myös sijoittuneena luutumassa, erityisesti lähellä ulkoreunaa. Kyseinen haaste korostuu etenkin vanhaksi elävillä kalalajeilla, joilla kasvu keskittyy ensimmäisille elinvuosille (Ashford ym. 2001). Myös silakka kuuluu lajeihin, jotka kasvavat suurimman osan pituudestaan ensimmäisten kolmen vuoden aikana (Raitaniemi ym. 2000). Viimeisten vuosikymmenien aikana silakoiden kasvu on hidastunut (Casini ym. 2011, Rajasilta ym. 2019, 2021). Tämä voi näkyä myös kalojen ikärakenteissa esimerkiksi tiheämpinä vuosirenkaina (Kornilovs ja Fetter 1996), mikä usein hankaloittaa iänmääritystä. Myös ikää määrittävän henkilön tulkinta ja kokemus iänmäärityksestä vaikuttavat lopulliseen määritettävään ikään, etenkin vanhempien yksilöiden kohdalla (Eklund ym. 2000, Ashford ym. 2001).

Kolmella yksilöllä suomusta saatu ikä oli otoliitista saatua ikää suurempi. Kaikissa näissä tapauksissa otoliitista määritetty ikä oli kaksi vuotta, eli kyseessä oli hyvin nuoria kaloja. Suomessa ikärenkaiden erottaminen muista kasvunopeuden vaihtelusta syntyneistä renkaista on haastavampaa kuin otoliiteissa. Tässä tapauksessa vuosirenkaiksi on siis mahdollisesti laskettu suomujen muita kasvurenkaita kuin oikeita vuosirenkaita eli valerenkaita. Suomuihin voi kalan ensimmäisen kesän aikana syntyä poikasrenkaita, jotka eivät ole oikeita vuosirenkaita vaan valerenkaita (Raitaniemi ym. 2000), mikä voi olla yksi syy siihen, miksi muutama hyvin nuori kala tulkittiin suomusta huomattavasti vanhemmaksi kuin otoliitista. Onkin huomattu, että suomuista nuorien kalojen ikää helposti yliarvioidaan ja vanhempien kalojen aliarvioidaan (Harris 2020). Useimmiten todella nuoret sekä vanhat yksilöt ovatkin haastavimpia tapauksia iänmäärityksen kannalta (Campana 2001).

Otoliittien poikkileikkauksesta tehtävää iänmäärittystä helpotti otoliittien värjäys. Värjäysaine sitoutuu proteiineihin, joista otoliitti muodostuu (Richter ja McDermott 1990). Proteiineja on eniten kasautuneena hitaan kasvun alueella hyaliinivyöhykekeellä eli talvirenkaan kohdalla, joten kyseiset renkaat värjäytyvät selkeämmin kuin muut otoliitin rakenteet (Zhang ja Moksness 1992). Otoliittien varsinaiset vuosirenkaat oli siis värjäyksen ansiosta helpompi erottaa valerenkaista. Suomujen käsittelyyn ei liittynyt värjäystä, joten vuosirenkaiden erottaminen valerenkaista oli haasteellisempaa ja iänmäärittys täten epäluotettavampaa.

## **4.2 Suomuista tehtävän iänmäärittelyn haasteet silakoilla**

Somujen iänmäärittelyssä haasteita on useampia. Somut ovat menetelmänä epävarmempi, sillä silakoiden somut ovat pyörösomuja ja irtoavat helposti, mikä on koko sillien (Clupeidae) heimolle tyypillistä (Musschoot ym. 2021). Yksi mahdollinen selitys otoliitti- ja somuian välisten erojen syntymiselle on se, että analysoitu somu ei välttämättä ollut peräisin samasta yksilöstä, josta otoliitti-ikä määritettiin. Iänmäärittelyn kannalta olisikin suotuisaa, jos somuja saataisiin useampi yhtä kalayksilöä kohden, jopa 20–30 kappaletta (Raitaniemi ym. 2000). Tällöin iänmäärittelyyn soveltuva somu löytyisi todennäköisemmin ja voitaisiin muutamasta vaihtoehdosta ottaa esimerkiksi keskiarvo tai valita suurimman iän antanut somu. Harvalla silakalla on kuitenkin tässä vaiheessa käsittelyä enää saatavilla riittävästi somuja samasta kehon kohdasta, mikä on yksi silakan somuista tehtävän iänmäärittelyn suurin haaste. Yksi mahdollinen ratkaisu olisi käyttää muuta pyyntimenetelmää kuin rysä. Esimerkiksi litkalla pyydetessä silakat eivät ole yhtä voimakkaassa kosketuksessa pyydykseen tai toisiin kaloihin, mikä voi vähentää somujen irtoamista. Tutkimuksen ja seurantojen kannalta rysä sekä toinen paljon käytetty menetelmä trooli ovat kuitenkin paljon kannattavampia, jos halutaan suurempi saalis pienemmällä vaivalla ja ajalla. Itämerellä pyydetäänkin kaupallisesti eniten kalaa pelagisilla trooleilla ja nuotilla (ICES 2024). Pelagisen troolauksen seurauksena somuja menetetään enemmän ja ne ovat huonolaatuisempia (Engelhard ym. 2003). Otoliittien kohdalla vastaavaa ongelmaa ei ole, sillä ne ovat suojaan kalan sisäkorvan sisällä.

Irronneiden suomujen paikalle kasvaa uusi somu, jota kutsutaan korvautuneeksi tai regeneroituneeksi somuksi. Regeneroitunut somu on samankokoinen kuin irronnut somu, mutta sen keskiosasta puuttuu kasvurenkaat, jotka vanhaan somuun oli muodostunut ajan myötä (Raitaniemi ym. 2000). Uudessa somussa ei siis ole kalan koko elinajalta vuosirenkaita, minkä takia sitä ei tulisi käyttää iänmääritykseen. Regeneroituneet ja vaurioituneet somut tulisi tunnistaa iänmäärityksiä tehtäessä ja jättää pois iänmäärityksestä (Horká ym. 2010). Tutkimukseen pyrittiin valitsemaan mahdollisimman edustavat somut, mutta on mahdollista, että aineistoon on sisällynyt myös regeneroituneita somuja, mikä on voinut johtaa iän aliarviointiin. Otoliettien kohdalla tätäkään ongelmaa ei ole, sillä samat otoliitit ovat kalalla koko eliniän ajan.

Eri kalalajeilla on niille tyypilliset vakiosomujen näytteenottokohdat, joista poimitut somut ovat mahdollisimman vanhoja ja ikärenkaat mahdollisimman selkeästi erottuvia. Poimimme somut peräevän kohdilta kyljen keskikohdilta, mikä on monelle lajille tyypillinen somujen poimintakohta (Raitaniemi ym. 2000). On kuitenkin mahdollista, että iänmäärityksen kannalta parhaat somut löytyvät kalan eri osasta. Esimerkiksi silliltä (*C. harengus*), jonka alalaji silakka on, somuja on poimittu myös kiduskannen takaa kylkiviivan läheltä (Engelhard ym. 2003).

### **4.3 Vaihtoehtoisia menetelmiä iänmääritykseen**

Eri luutumille on kehitelty vuosikymmenien aikana erilaisia menetelmiä ja käsittelyjä mahdollisimman luotettavan iänmääritystuloksen saamiseksi. Ennen iänmäärityksen tekemistä somuista voidaan esimerkiksi prässätä suomuprässillä jäljenteet ohuelle muovilevyille, josta kasvurenkaat saattavat erottua paremmin kuin itse somusta (Raitaniemi ym. 2000). Menetelmä on nykyään yleinen, mutta meillä ei ollut suomuprässä käyttössämme, mikä saattaa tuoda lisää epäluotettavuutta somuista tehtyihin iänmäärityksiin.

Myös otoliitteja on mahdollista käsitellä eri tavalla ennen iänmäärittystä. Otoliittien käsittelyssä on yleistymässä menetelmä, jossa otoliitin keskustan kohdalta sahataan ohuella terällä noin 0,25–0,6 mm:n paksuinen leike, josta on mahdollista lukea kasvurenkaat entistä luotettavammin (Raitaniemi ym. 2000). Meillä ei ollut käytössämme otoliittien käsittelyyn soveltuvaa sahaa, vaan poikkileikkaukset tehtiin käsin hiomalla, mikä voi hieman vaikuttaa myös otoliiteista tehtyjen iänmäärittysten luotettavuuteen.

#### **4.4 Iänmäärittelyn tärkeys**

Monet kalakantojen kokoarviot ja ennustukset perustuvat eri ikäluokkien kokoihin sekä kuolleisuuden selvittämiseen (Parmanne ym. 1994). Ikäluokkien kokojen selvittämisessä kalojen iänmäärittäminen on oleellinen tieto, minkä takia kalojen iän mahdollisimman tarkka määrittäminen olisi tärkeää. Etenkin Itämerellä tärkeänä kalana silakan kantojen arvioiminen olisi tärkeää sekä ekologisessa että kaupallisessa mielessä. Iänmäärittämenetelmällä on väliä, jos ne antavat eri tuloksia. Tämän tutkimuksen pohjalta voi todeta, että otoliiteista tehty iänmäärittäminen tunnistaa paremmin myös vanhempien ikäluokkien kaloja verrattuna suomuista tehtyyn iänmäärittämiseen. Väärät tai epätarkat ikätiedot tai tiettyjen ikäluokkien puuttuminen vääristävät ikäluokkien jakaumaa, mikä taas vääristää esimerkiksi kannan kokoarviota (Harris 2020). Tällä voi olla vaikutuksia esimerkiksi sallittuihin kalastusmääriin ja kestävien kalakantojen säilyttämiseen (Ashford ym. 2001). Mahdollisimman luotettavien iänmäärittämenetelmien kehittäminen ja hyödyntäminen sekä tutkijoiden riittävä osaaminen menetelmiä hyödyntäessä on siis tärkeää (Harris 2020). Mahdollisia iästä tai koosta johtuvia riippuvuuksia iänmäärittämen tarkkuuteen olisi hyvä tutkia tarkemmin eri iänmäärittämenetelmien välillä.

Otoliittien poikkileikkauksesta tehtävä iänmäärittäminen on nykyään silakoilla vakiintunut tapa määrittää kalan ikä. Menetelmää kuitenkin uhkaa kristallisaatio, jonka perimmäistä syytä ei kunnolla tunneta (Mäkinen ym. 2022). Itämeri muuttuu jatkuvasti ihmistoiminnan sekä ilmaston muuttuessa, vaikuttaen esimerkiksi rehevöitymiseen sekä veden lämpötilaan ja suolapitoisuuteen (Andersson ym. 2023). Ympäristötekijöiden muutoksilla on vaikutuksia itse

silakkaan (Andersson ym. 2023) sekä sen ravintolajeihin (Mäkinen ym. 2017). Kristallisaation perimmäinen synty tapa on vielä epäselvä, mutta sen uskotaan liittyvän kalan sisäisiin fysiologisiin tekijöihin (Thomas ja Swearer 2019, Mäkinen ym. 2022). Jos kristallisaatio lisääntyy esimerkiksi ilmastonmuutoksen myötä, hankaloituu silakoiden iänmääritys. Tässä tutkimuksessa suomuista ja otoliiteista tehtyjen iänmääritysten väliset erot olivat kuitenkin merkitseviä, joten ainakaan kyseisellä käsittelymenetelmällä suomuista tehtävää iänmääritystä ei voi pitää tarpeeksi luotettavana tai varteenotettavana vaihtoehtona vakiintuneelle menetelmälle. Tämän tutkimuksen tulosten sekä aikaisemman kirjallisuuden perusteella otoliitit ovat siis tällä hetkellä sekä varmuuden että tarkkuuden osalta suomuja luotettavampi ja parempi tapa määrittää ikä silakalla.

## Kiitokset

Suuri kiitos Turun yliopiston silakkaprojektin projektipäällikölle sekä tutkielmani ohjaajalle Katja Mäkiselle avusta ja opeista liittyen tutkielmaan sekä muuhun tutkimukseen. Kiitos myös silakkaprojektin muille työntekijöille Aarne Lauermalle, Laura Lammille ja Mikko Kaasiselle avusta. Tutkimuksen toteuttamisessa hyödynnettiin FINMARI-infrastruktuuria.

## Lähdeluettelo

- Andersson, L., André, C., Johannesson, K. and Pettersson, M. 2023. Ecological adaptation in cod and herring and possible consequences of future climate change in the Baltic Sea. - *Front. Mar. Sci.* 10: 1101855.
- Ashford, J. R., Wischniowski, S., Jones, C., Bobko, S. and Everson, I. 2001. A comparison between otoliths and scales for use in estimating the age of *Dissostichus eleginoides* from South Georgia. - *CCAMLR Science* 8: 75–92.
- Atmore, L. M., Martínez-García, L., Makowiecki, D., André, C., Lõugas, L., Barrett, J. H. and Star, B. 2022. Population dynamics of Baltic herring since the Viking Age revealed by ancient DNA and genomics. - *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 119: e2208703119.

- Bagenal, T. B. and Braum, E. 1971. Eggs and early life history. - In: Ricker, W.E. (ed.) Methods for the Assessment of Fish Production in Fresh Waters. IBP Handbook No. 3. Blackwell Scientific, Oxford, pp. 166–198.
- Belay, T. H. and Mengist, A. B. 2025. The application of otolith chemistry in fish life history assessment: review. - *Fish Aquat Sci* 28: 583–595.
- Boeuf, G. and Le Bail, P.-Y. 1999. Does light have an influence on fish growth? - *Aquaculture* 177: 129–152.
- Boltaña, S., Sanhueza, N., Aguilar, A., Gallardo-Escarate, C., Arriagada, G., Valdes, J. A., Soto, D. and Quiñones, R. A. 2017. Influences of thermal environment on fish growth. - *Ecology and Evolution* 7: 6814–6825.
- Campana, S. E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. - *Journal of Fish Biology* 59: 197–242.
- Casini, M., Kornilovs, G., Cardinale, M., Möllmann, C., Grygiel, W., Jonsson, P., Raid, T., Flinkman, J. and Feldman, V. 2011. Spatial and temporal density dependence regulates the condition of central Baltic Sea clupeids: compelling evidence using an extensive international acoustic survey. - *Population Ecology* 53: 511–523.
- Eklund, J., Parmanne, R. and Aneer, G. 2000. Between-reader variation in herring otolith ages and effects on estimated population parameters. - *Fisheries Research* 46: 147–154.
- Engelhard, G. H., Dieckmann, U. and Godø, O. R. 2003. Age at maturation predicted from routine scale measurements in Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus*) using discriminant and neural network analyses. - *ICES Journal of Marine Science* 60: 304–313.
- Flinkman, J., Vuorinen, I. and Aro, E. 1992. Planktivorous Baltic Herring (*Clupea harengus*) Prey Selectively on Reproducing Copepods and Cladocerans. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 73–77.
- Harris, J. E. 2020. Assessing Accuracy and Bias of Protocols to Estimate Age of Pacific Salmon Using Scales. - *North American Journal of Fisheries Management* 40: 1007–1022.
- Hile, R. 1950. A Nomograph for the Computation of the Growth of Fish from Scale Measurements. - *Transactions of the American Fisheries Society* 78: 156–162.
- Horká, P., Ibbotson, A., Jones, J. I., Cove, R. J. and Scott, L. J. 2010. Validation of scale-age determination in European grayling *Thymallus thymallus* using tag-recapture analysis. - *Journal of Fish Biology* 77: 153–161.
- ICES 2022. Report of the Workshop on Age Reading of Baltic Herring (WKARBH): 1298302 Bytes.

- ICES 2024. Baltic Sea Ecoregion - Fisheries Overview.: 6453382 Bytes.
- Kornilovs, G. and Fetter, M. 1996. The comparison of Baltic herring age determination from scales and otoliths. - ICES C.M. 1996/ J:21 Baltic Fish Committee in press.
- LaBay, S. R. and Lauer, T. E. 2006. An Evaluation of the Accuracy of Age Estimation Methods for Southern Lake Michigan Alewives. - North American Journal of Fisheries Management 26: 571–579.
- Messieh, S. N. 1974. Problems of ageing Atlantic herring (*Clupea harengus harengus* L.) in the ICNAF Area. - International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries in press.
- Messieh, S. N. and Tibbo, S. N. 1970. A Critique on the use of Otoliths for Ageing Gulf of St. Lawrence Herring (*Clupea Harengus* L.). - ICES Journal of Marine Science 33: 181–191.
- Musschoot, T., Boden, G. and Snoeks, J. 2021. Identification guide to the Clupeiformes of the inland waters of Africa. - Royal Museum for Central Africa.
- Mäkinen, K., Vuorinen, I. and Hänninen, J. 2017. Climate-induced hydrography change favours small-bodied zooplankton in a coastal ecosystem. - Hydrobiologia 792: 83–96.
- Mäkinen, K., Rajasilta, M., Mäkilä, E., Jokinen, S. and Hänninen, J. 2022. Varying frequency of vateritic otoliths in the Baltic herring *Clupea harengus membras*. - Journal of Fish Biology 101: 741–744.
- Nuñez-Tapia, I., Jiménez-Jiménez, R. M., Álvarez-Pérez, M. A., Galindo, L. B. and Piña-Barba, M. C. 2025. Comparative characterisation of mineralised and demineralised fish scales: An approach as scaffolds for tissue engineering. - Materials Today Communications 49: 113760.
- Parmanne, R., Rechlin, O. and Sjöstrand, B. 1994. Status and future of herring and sprat stocks in the Baltic Sea. - Dana 10: 29–59.
- Peltonen, H. 2002. Age determination of Baltic herring from whole otoliths and from neutral red stained otolith cross sections. - ICES Journal of Marine Science 59: 323–332.
- Posit team 2025. RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software, PBC, Boston, MA. URL <http://www.posit.co/>.
- Proctor, C., Robertson, S., Jatmiko, I. and Clear, N. 2021. An introductory manual to fish ageing using otoliths. 41 pp. in press.
- Raitaniemi, J., Nyberg, K. and Torvi, I. 2000. Kalojen iän ja kasvun määrittäminen. - Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.
- Rajasilta, M. 1993. Spawning of herring (*Clupea harengus membras* L.) in the Archipelago Sea. - ICES Journal of Marine Science 50: 233–246.

- Rajasilta, M., Hänninen, J., Laaksonen, L., Laine, P., Suomela, J.-P., Vuorinen, I. and Mäkinen, K. 2019. Influence of environmental conditions, population density, and prey type on the lipid content in Baltic herring (*Clupea harengus membras*) from the northern Baltic Sea. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 76: 576–585.
- Rajasilta, M., Mäkinen, K., Ruuskanen, S., Hänninen, J. and Laine, P. 2021. Long-Term Data Reveal the Associations of the Egg Quality With Abiotic Factors and Female Traits in the Baltic Herring Under Variable Environmental Conditions. - *Front. Mar. Sci.* 8: 698480.
- Richter, H. and McDermott, J. G. 1990. The staining of fish otoliths for age determination. - *Journal of Fish Biology* 36: 773–779.
- Sakaris, P. C. and Irwin, E. R. 2008. Validation of Daily Ring Deposition in the Otoliths of Age-0 Channel Catfish. - *North American Journal of Fisheries Management* 28: 212–218.
- Schulz-Mirbach, T., Heß, M. and Plath, M. 2011. Inner Ear Morphology in the Atlantic Molly *Poecilia mexicana* — First Detailed Microanatomical Study of the Inner Ear of a Cyprinodontiform Species (K-W Koch, Ed.). - *PLoS ONE* 6: e27734.
- Skurdal, J., Asbjørn Vøllestad, L. and Qvenild, T. 1985. Comparison of scales and otoliths for age determination of whitefish *Coregonus lavaretus*. - *Fisheries Research* 3: 237–243.
- Thomas, O. R. B. and Swearer, S. E. 2019. Otolith Biochemistry — A Review. - *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* 27: 458–489.
- Tomás, J. and Geffen, A. J. 2003. Morphometry and composition of aragonite and vaterite otoliths of deformed laboratory reared juvenile herring from two populations. - *Journal of Fish Biology* 63: 1383–1401.
- Zhang, Z. and Moksness, E. 1992. Preliminary notes on age information from sections of decalcified otoliths of Atlantic herring. - *Fisheries Research* 15: 181–186.